

A1

RESIDUAL CAPACITY ESTIMATING METHOD FOR SECONDARY BATTERY

Patent Number: JP2000268886
Publication date: 2000-09-29
Inventor(s): ASAI SHOJI
Applicant(s): TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC
Requested Patent: ☐ JP2000268886
Application Number: JP19990073585 19990318
Priority Number(s):
IPC Classification: H01M10/48; G01R31/36
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately estimate residual capacity by measuring battery voltage and battery current of a secondary battery, calculating the battery voltage from an equivalent circuit model of the secondary battery including a part represented by a separated diffusion equation where a charge diffusion effect is radially equally divided into N with setting a positive electrode active material particles to be spherical, and correcting a current integrated value based on a comparing result with the measured battery voltage.

SOLUTION: An equivalent circuit model of the secondary battery including a part represented by a separated diffusion equation of an equation I (where, q is charge, D is diffusion coefficient, and Δx is r/N) is created. Battery current I (k) and battery voltage V are measured, and the current is integrated to provide discharge capacity Q. A voltage change V_z is calculated with an equation III, a battery voltage V_m is calculated with an equation IV, a correction amount Q_c is provided with an equation V, the discharge capacity Q is corrected, and a charge state (SOC) is calculated with an equation II. In the equations, I is battery current, E is electromotive force, R_s is resistance of collector or electrolyte, Cd_1 is capacity of an electric double layer, R_t is charge movement reaction resistance, and T_s is sampling period.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-268886
(P2000-268886A)

(43)公開日 平成12年 9 月29日 (2000. 9. 29)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 M 10/48		H 0 1 M 10/48	P 2 G 0 1 6
G 0 1 R 31/36		G 0 1 R 31/36	A 5 H 0 3 0

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-73585

(22)出願日 平成11年 3 月18日 (1999. 3. 18)

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の 1

(72)発明者 浅井 彰司

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の 1 株式会社豊田中央研究所内

(74)代理人 100107700

弁理士 守田 賢一

Fターム(参考) 2G016 CA03 CB06 CB12 CB13 CB22

CC01 CC02 CC04 CC06 CC23

CC24 CC27 CF06

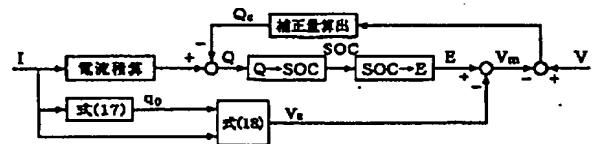
5H030 AA10 AS08 FF22 FF42 FF44

(54)【発明の名称】 二次電池の残存容量推定方法

(57)【要約】

【課題】 二次電池の残存容量を簡易かつ正確に推定する。

【解決手段】 二次電池の電池電圧Vを測定し、二次電池の電池電流Iを測定し、測定された電池電流の電流積算値を算出し、正極活物質粒子を球状として、その電荷拡散効果をその半径方向でN (Nは3以上) 等分した離散化拡散方程式で表した部分を含む二次電池の等価回路モデルを作成して、当該等価回路モデルより算出された電池電圧V_mと測定された電池電圧Vを比較し、比較結果に基づいて電流積算値を補正して、補正した電流積算値より残存容量、すなわち充電状態SOCを推定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 二次電池の電池電圧を測定するステップと、前記二次電池の電池電流を測定するステップと、測定された電池電流の電流積算値を算出するステップと、正極活物質粒子を球状とみなして、その電荷拡散効果をその半径方向で N (N は3以上) 等分した離散化拡散方程式で表した部分を含む二次電池の等価回路モデルを作成して、当該等価回路モデルより算出された電池電圧と前記測定された電池電圧を比較するステップと、比較結果に基づいて電流積算値を補正するステップと、補正した電流積算値より残存容量を推定するステップとを具備する二次電池の残存容量推定方法。

【請求項2】 二次電池の電池電圧を測定するステップと、前記二次電池の電池電流を測定するステップと、正極活物質粒子を球状とみなして、その電荷拡散効果をその半径方向で N (N は3以上) 等分した離散化拡散方程式で表わした部分を含む二次電池の等価回路モデルを作成して、当該等価回路モデルより算出された電池電圧と前記測定された電池電圧を比較するステップと、比較結果に基づいて前記等価回路モデルより算出された離散的な電荷を補正するステップと、補正した離散的な電荷の総和より残存容量を推定するステップとを具備する二次電池の残存容量推定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は二次電池の等価回路モデルを作成することによって二次電池の残存容量を推定する残存容量推定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、環境汚染防止の観点から電気自動車やハイブリッド電気自動車が注目されており、安定した車両性能の発揮を保证するために、これに搭載されるリチウムイオン電池等の二次電池の残存容量を正確に推定する必要がある。従来の残存容量推定方法の多くは、二次電池への充電電流ないし放電電流の積算値を電池温度、電池比重、電池電圧等で補正して残存容量を求めるものであり（例えば特開平6-6901）、これによると電流センサのノイズや零点ドリフトによる測定誤差が累積するため、時間の経過に伴って残存容量の算出精度が低下するという問題がある。

【0003】 そこで、例えば欧州特許出願公開番号505333A2では、二次電池の等価回路モデルを作成し、当該等価回路モデルから算出される電池電圧と実際に測定される電池電圧との差に基づいて上記等価回路モデルを適正化することにより残存容量を推定する方法が示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記従来の等価回路モデルを使用した方法では、電池インピーダンスを専ら抵抗と電気二重層のみで記述しているため、これ

から算出される電池電圧の精度が十分ではなく、これにより充電状態の推定精度が未だ不十分であるという問題があった。

【0005】 そこで本発明はこのような課題を解決するもので、二次電池の残存容量を簡易かつ正確に推定することができる二次電池の残存容量推定方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明では図1に示すような、いわゆるRandles型等価回路モデルを使用する。図中、 V_m は電池電圧、 I は電池電流、 E は起電力、 R_s は集電体や電解液等の抵抗、 C_{dl} は電気二重層の容量、 R_t は電荷移動反応抵抗である。 Z_w はWarburgインピーダンスで、これは正極活物質粒子での電荷拡散効果に起因するインピーダンスである。また、 V_z は電池インピーダンスによる電圧変化、 V_w はインピーダンス Z_w による電圧変化、 i はインピーダンス Z_w を流れる電流である。

【0007】 本発明においては、正極活物質粒子を半径 r の球形とみなし、図2に示すように、粒子表面から粒子中心までの径方向（ x 方向）を N (N は3以上) 個に分割して離散化する。そして、この時の離散的な電荷をそれぞれ q_1, q_2, \dots, q_N として、式(1)の境界条件の下での式(2)に示す拡散方程式より、式(3)に示す離散化した拡散方程式を作成する。なお、図2の q_{eq} は式(4)で表される平衡状態での電荷であり、式(1)～(3)中、 q は電荷、 D は拡散係数である。また、 $\Delta x = r/N$ であり、図1の上記電圧（電圧変化） V_w は式(5)で表される。式(5)中の C_H は後述する限界容量である。

【0008】 本発明の方法は以上の前提の下に、以下の手順より構成されるものである。すなわち、図3に示すように、二次電池の電池電圧（ V ）を測定し、二次電池の電池電流（ I ）を測定し、測定された電池電流の電流積算値を算出し、正極活物質粒子を球状とみなして、その電荷拡散効果をその半径方向で N (N は3以上) 等分した離散化拡散方程式（式(3)）で表した部分を含む二次電池の等価回路モデルを作成して、当該等価回路モデルより算出された電池電圧（ V_m ）と測定された電池電圧（ V ）を比較し、比較結果に基づいて電流積算値を補正して、補正した電流積算値より残存容量、すなわち充電状態（SOC）を推定するものである。なお、上記電流積算値の補正は、積算結果に補正値を加える場合と、積算要素にそれぞれ補正値を加えてこれらを積算する場合の両者を含むものである。図3における Q からSOCの算出は式(6)により行ない、式(6)で Q_n は電池容量である。

【0009】 本発明の残存容量推定方法においては、正極活物質粒子の電荷拡散効果によるインピーダンスを考慮した等価回路モデルを使用しているから、当該等価回

路モデルから精度良く電池電圧を算出でき、算出された電池電圧と実際に測定した電池電圧との差より電流積算値を適切に補正して正確な残存容量を推定することができる。このように、電流センサのノイズや零点ドリフトによる電流測定誤差が累積しないのに加えて、本発明では、正極活物質粒子を球状として、その電荷拡散効果をその半径方向で N 等分した離散化拡散方程式で表しているから、演算負担が過大にならず、通常のマイクロプロセッサ装置で十分に対応することができる。

【0010】また、本発明の方法を以下の手順により構成することもできる。すなわち、二次電池の電池電圧を測定し、上記二次電池の電池電流を測定し、正極活物質粒子を球状とみなして、その電荷拡散効果をその半径方向で N (N は3以上)等分した離散化拡散方程式で表わした部分を含む二次電池の等価回路モデルを作成して、当該等価回路モデルより算出された電池電圧と前記測定された電池電圧を比較し、比較結果に基づいて上記等価回路モデルより算出された離散的な電荷を補正し、補正した離散的な電荷の総和より残存容量を推定するものである。

【0011】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)図4には本発明方法を実施する装置の構成を示す。二次電池1には電流計2が接続され、スイッチ3を介して負荷4に接続されて放電し、あるいは充電器5に接続されて充電される。このスイッチ3、負荷4、充電器5は実際の車両ではインバータや電気モータに置き換えられる。二次電池1の電圧を検出する電圧計6と、電池温度を測定する温度センサ7が設けられて、これらの出力信号が演算装置8に入力している。マイクロプロセッサで構成されている演算装置8は、後述する手順によって二次電池1の残存容量、すなわち充電状態(SOC)を推定して表示部9へ表示する。

【0012】以下、演算装置8における、図3に従ったSOCの推定手順を図5、図6のフローチャートを参照しつつ説明する。図5は初期処理の手順で、ステップ101で電池電圧 V と電池温度を測定し、ステップ102では測定された電池電圧 V を起電力 E として設定する。ステップ103では図7に示すマップより初期SOCを設定し、続くステップ104で初期SOCと上記ステップ101で測定された電池温度とから図8～図11の各マップを使用して容量 C_{dl} 、抵抗 R_s 、 R_t 、拡散係数 D を設定する。ステップ105では式(7)、式(8)より、係数行列 A 、 B を算出する。係数行列 A の各要素 $A_0 \sim A_N$ は1行($N+1$)列の行列であり、これら係数行列 A 、 B は式(9)に示す行列方程式のものである。この行列方程式は、式(3)の拡散方程式と、式(10)、式(11)で得られる関係式とを合体させたものであり、式中、 q_0 は電気二重層 C_{dl} における蓄積電荷である。なお、式(11)は式(4)、式(5)、

式(12)から得られる。

【0013】なお、図8～図10に示す C_{dl} 、 R_s 、 R_t の各マップは、式(13)で表されるインピーダンスが、種々の温度とSOCの下で周波数 $25\text{Hz} \sim 0.1\text{Hz}$ の間に図12に示すように複素平面上で描く曲線を円弧とみなしてカーブフィッティングすることにより、 C_{dl} 、 R_s 、 R_t の各値を同定して作成される。なお、図12は温度 10°C 、SOC25%における例である。また、図11に示す D のマップは、 $Z_w(\omega)$ が傾き 45° の直線を描く周波数域($0.1\text{Hz} \sim 2\text{mHz}$)で式(14)が成立することに基づき、種々の温度とSOCの下での図13の直線の傾きから D の値を同定して作成される。なお、式(14)における拡散層の厚さ L は正極活物質粒子の半径 r に等しく、限界容量 CL は電池容量 Q_n に等しい。

【0014】図5のステップ106では、式(15)、式(16)により係数行列 A_d 、 B_d を算出する。この係数行列は、式(9)をさらにサンプリング周期 T_s で離散化した式(17)に示す行列方程式のものである。なお、 $X(k)$ 、 $I(k)$ は k 回目のサンプル時の X 、 I であることを示す。ステップ107では、式(6)より放電容量 Q を算出するとともに、 $q_0(k-1)=0$ 、 $q_j(k-1)=Q/N$ ($j=1 \sim N$)、 $I(k-1)=0$ に設定する。

【0015】図6に示す通常ルーチンはサンプリング周期 T_s で繰り返される。ステップ201では電池電流 $I(k)$ 、電池電圧 V 、電池温度を測定し、続くステップ202で電流積算を行なって放電容量 Q を更新する。ステップ203では式(17)により $X(k)$ を算出し、続いて式(18)により電圧 V_z を算出する(ステップ204)。ステップ205、ステップ206ではそれぞれ式(19)で電圧 V_m を算出するとともに、式(20)で補正量 Q_c を得る。そして、ステップ207で上記補正量 Q_c で放電容量(電流積算値) Q を補正し、続くステップ208で式(6)によって、補正後の電流積算値 Q に基づいて現時点でのSOCを算出し推定する。なお、SOCは式(6)から明らかなように、二次電池の残存容量と電池容量との比である。

【0016】ステップ209～213は次回ルーチンのための準備ステップである。すなわち、ステップ209では図7のマップより、ステップ208で算出されたSOCに基づいて起電力 E を設定し、続くステップ210で上記SOCとステップ201で測定された電池温度とから図8～図11の各マップを使用して容量 C_{dl} 、抵抗 R_s 、 R_t 、拡散係数 D を設定する。ステップ211では式(7)、式(8)より係数行列 A 、 B を算出し、ステップ212では、式(15)、式(16)により係数行列 A_d 、 B_d を算出する。ステップ213では、ステップ201で測定された電池電流 $I(k)$ およびステップ203で算出された $X(k)$ をそれぞれ、次回ルーチ

ンの $I(k-1)$, $X(k-1)$ とする。

【0017】(第2実施形態)図3に示すSOCの推定手順に代えて、図14に示す推定手順としても良い。この推定手順では、式(17)で得られた電荷 q_j ($j=1\sim N$)のそれぞれを補正量 Q_c/N で補正する点が図3に示すものと異なる。この手順を実現する通常ルーチンのフローチャートを図15に示す。なお、初期ルーチンは第1実施形態で説明したものと同一である(図5参照)。

【0018】図15において、ステップ301で電池電流 $I(k)$ 、電池電圧 V 、電池温度を測定し、ステップ302では式(17)により $X(k)$ を算出する。ステップ303では式(18)により電圧 V_z を算出し、ステップ304、ステップ305ではそれぞれ式(19)で電圧 V_m を算出するとともに、式(20)で補正量 Q_c を得る。ステップ306では、ステップ302で得られた各電荷 q_j ($j=1\sim N$)を補正量 Q_c/N で補正

し、補正後の電荷 q_j より式(21)で放電容量(電流積算値) Q を算出する。そして、ステップ308で、電流積算値 Q に基づいて式(6)より現時点でのSOCを算出し推定する。ステップ309~313は次回ルーチンのための準備ステップで、第1実施形態における図6のステップ209~213と同様である。

【0019】(その他の実施形態)上記各実施形態において、サンプリング周波数 T_s を0.1秒程度にすれば、高周波数域のインピーダンス $[R_s+R_t/(1+CdI R_t s)]$ を (R_s+R_t) と簡略化することができる。また、 R_s , R_t , D が温度やSOCによって変化しないならば、 R_s , R_t , D をマップとせず、一定値とすることもできる。さらに、 E がSOCに対して線形ならば、 E をマップとせず、SOCに対する一次関数としてもよい。

【0020】

【数1】

$$I = -D \left[\frac{\partial q}{\partial x} \right]_{x=0}, \left[\frac{\partial q}{\partial x} \right]_{x=r} = 0 \quad \dots (1)$$

【0021】

【数2】

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \quad \dots (2)$$

$$\frac{d}{dt} q_1 = \frac{D}{\Delta x^2} (-q_1 + q_2) + I.$$

$$\frac{d}{dt} q_j = \frac{D}{\Delta x^2} (q_{j-1} - 2q_j + q_{j+1}), \quad j=2\sim N-1 \quad \dots (3)$$

$$\frac{d}{dt} q_N = \frac{D}{\Delta x^2} (q_{N-1} - q_N)$$

【0023】

【数4】

$$q_{eq} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_j \quad \dots (4)$$

【数5】

$$V_w = \frac{N}{C_L} (q_1 - q_{eq}) \quad \dots (5)$$

【0025】

【数6】

【0024】

$$SOC = 100(1 - Q/Q_n) \quad \dots (6)$$

【0026】

【数7】

$$A = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ \vdots \\ A_N \end{bmatrix} \quad \cdots (7)$$

$$A_0 = \left[\frac{-1}{Cdl Rt} \quad \frac{N-1}{Rt C_L} \quad \frac{-1}{Rt C_L} \quad \cdots \quad \frac{-1}{Rt C_L} \right]$$

$$A_1 = \left[\frac{1}{Cdl Rt} \quad \frac{1-N}{Rt C_L} - \frac{D}{\Delta x^2} \quad \frac{1}{Rt C_L} + \frac{D}{\Delta x^2} \quad \frac{1}{Rt C_L} \quad \cdots \quad \frac{1}{Rt C_L} \right]$$

$$A_j = \left[\underbrace{0 \quad \cdots \quad 0}_{(j-1)\text{個}} \quad \frac{D}{\Delta x^2} \quad -\frac{2D}{\Delta x^2} \quad \frac{D}{\Delta x^2} \quad \underbrace{0 \quad \cdots \quad 0}_{(N-j-1)\text{個}} \right], j=2 \sim N-1$$

$$A_N = \left[\underbrace{0 \quad \cdots \quad 0}_{(N-1)\text{個}} \quad \frac{D}{\Delta x^2} \quad -\frac{D}{\Delta x^2} \right]$$

[0027]
[数8]

$$B = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \right)_{N\text{個}} \quad \cdots (8)$$

[0028]
[数9]

$$\frac{d}{dt} X = AX + BI \quad \cdots (9)$$

$$X = [q_0 \ q_1 \ \cdots \ q_N]^T$$

$$i = \frac{1}{Cdl Rt} q_0 - \frac{1}{Rt C_L} \{ (N-1)q_1 - q_2 \cdots q_N \} \quad \cdots (11)$$

[0031]

[数12]

$$\frac{1}{Cdl} q_0 = Rt \ i + Vw \quad \cdots (12)$$

[0032]

[数13]

$$Rs + Rt / (1 + Cdl Rt s) \quad \cdots (13)$$

[0033]
[数14]

$$|Zw(\omega)| = L / (C_L D^{1/2} \omega^{1/2}) \quad \cdots (14)$$

[0034]
[数15]

$$Ad + e^{ATs} \quad \cdots (15)$$

[0035]

[0029]
[数10]

$$\frac{d}{dt} q_0 = I - i \quad \cdots (10)$$

[0030]
[数11]

[数16]

$$Bd = \int_0^{Ts} e^{ATs} Bd \lambda \quad \cdots (16)$$

[0036]
[数17]

$$X(k) = Ad X(k-1) + Bd I(k-1) \quad \cdots (17)$$

[0037]
[数18]

$$V_z = R_s I(k) + \frac{1}{Cdl} q_0(k) \quad \cdots (18)$$

【0038】

【数19】

$$V_m = E - V_z \quad \cdots (19)$$

$$Q_c = K(V - V_m)T_s \quad \cdots (20)$$

【0040】

【数21】

$$Q = \sum_{j=1}^N q_j(k) \quad \cdots (21)$$

【0041】

【発明の効果】以上のように、本発明の二次電池の残存容量推定方法によれば、二次電池の残存容量をマイクロプロセッサ等で簡易かつ正確に推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】二次電池の等価回路モデルを示す図である。

【図2】正極活物質粒子内の電荷分布を示す図である。

【図3】本発明の方法を説明するブロックチャートである。

【図4】本発明の方法を実施する装置構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の方法を実施するプログラムフローチャートである。

【0039】

【数20】

【図6】本発明の方法を実施するプログラムフローチャートである。

【図7】起電力Eの変化グラフである。

【図8】容量Cdlの変化グラフである。

【図9】抵抗R_sの変化グラフである。

【図10】抵抗R_tの変化グラフである。

【図11】拡散係数Dの変化グラフである。

【図12】インピーダンスのベクトル軌跡図である。

【図13】WarburgインピーダンスZ_wの絶対値の変化を示す図である。

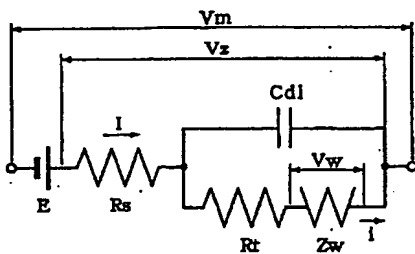
【図14】本発明の方法を説明するブロックチャートである。

【図15】本発明の方法を実施するプログラムフローチャートである。

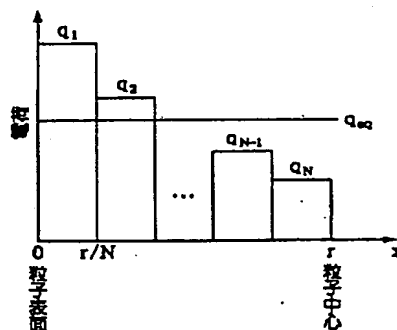
【符号の説明】

1…二次電池、2…電流計、3…スイッチ、4…負荷、5…充電器、6…電圧計、7…温度センサ、8…演算装置、9…表示部。

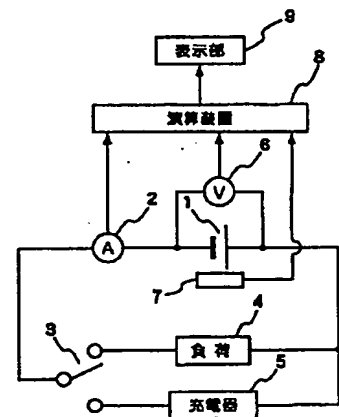
【図1】



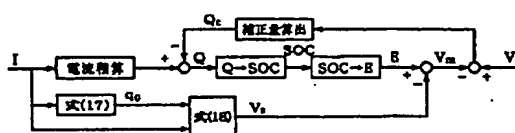
【図2】



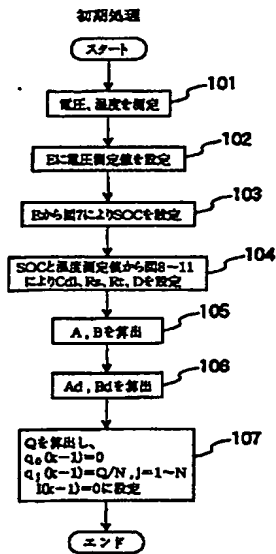
【図4】



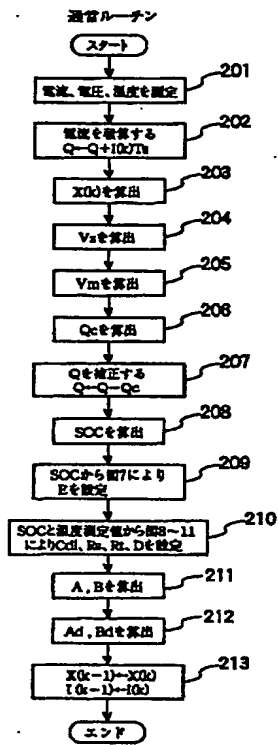
【図3】



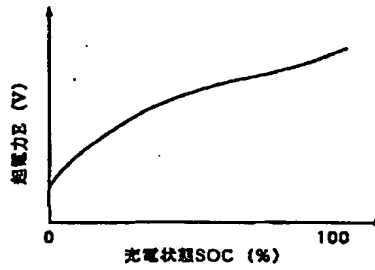
【図5】



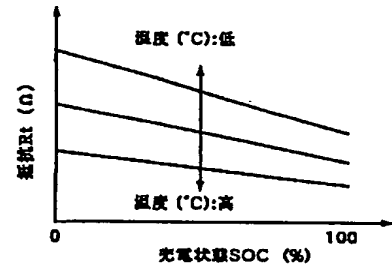
【図6】



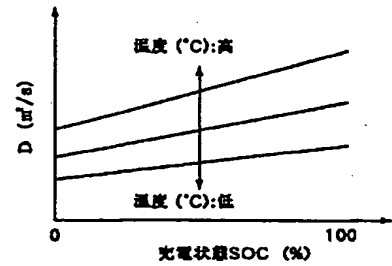
【図7】



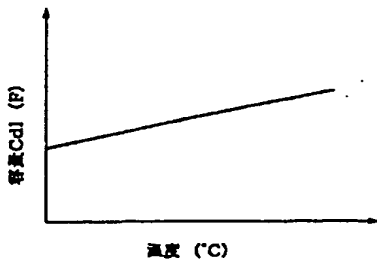
【図10】



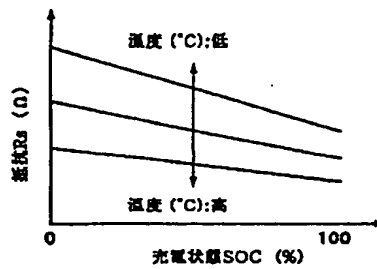
【図11】



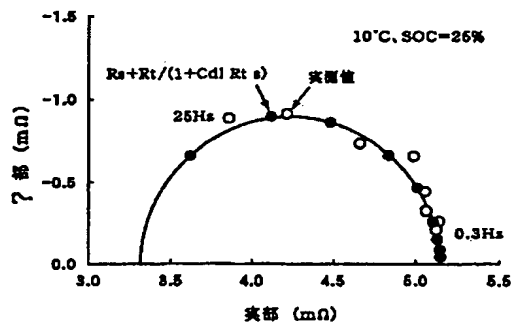
【図8】



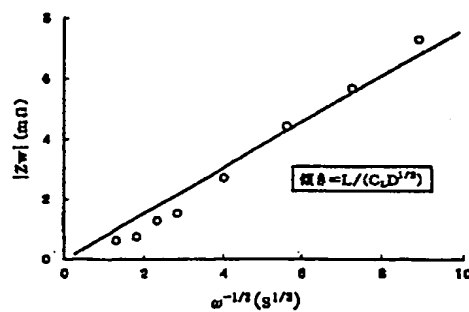
【図9】



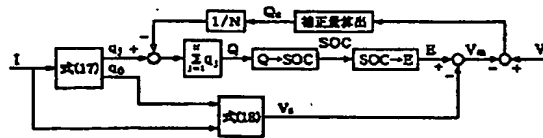
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

